

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Yhdyskuntalietteen kuivaus, -poltto-ominaisuudet ja -
hyötykäyttö

Drying, combustion qualities and utilization of municipal
sewage sludge

Työn tarkastaja: Jouni Ritvanen

Työn ohjaaja: Jouni Ritvanen

Lappeenranta 18.10.2018

Hanna Miettinen

TIIVISTELMÄ

Hanna Miettinen

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Jouni Ritvanen

Kandidaatintyö 2018

sivut 30, kuvat 2, taulukot 4

Hakusanat: Yhdyskuntaliete, yhdyskuntalietteen kuivaus, yhdyskuntalietteen poltt ominaisuudet, yhdyskuntalietteen tuhkan hyötykäyttö, yhdyskuntalietteen haitta-aineet

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää yhdyskuntalietteen hyötykäyttöä ja sen ominaisuuksia. Työssä käsitellään lietteen käyttöä energiantuotannossa, lietteen käsittelytekniikoita ja näiden ympäristövaikutuksia. Työssä pyritään tunnistamaan tärkeimmät haitta-aineet yhdyskuntalietteessä. Työssä käsitellään myös energiantuotannon tuhkan hyötykäyttöä.

Kandidaatintyö toteutetaan kirjallisuustyönä. Yhdyskuntalietteiden hyötykäytöstä tulee jatkuvasti uutta tietoa. Tästä syystä työssä pyritään käyttämään mahdollisimman uusia lähteitä. Lähteinä pyritään käyttämään pääasiassa tieteellisiä julkaisuja ja aiheeseen liittyvien yritysten omia internet-materiaaleja.

Työtä tehdessä tultiin siihen johtopäätökseen, että yhdyskuntalietteen poltto ei ole energiantuotantomuotona kannattava. Lietteen poltto on kuitenkin kokonaislaatuinen ratkaisuna paras vaihtoehto. Poltossa lietteestä tuhoutuu kemiallisia ja biologisia haitta-aineita, jotka muissa tutkimuksissa käsittelytavoissa jäävät valmiiseen tuotteeseen. Kiertotalouden näkökulmasta lietteen polton tuhkasta voi ottaa talteen paljon erilaisia aineita. Tärkeimpänä näistä on fosfori.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	2
Sisällysluettelo	3
Symboli- ja lyhenneluettelo	4
1 Johdanto	5
1.1 Työn tavoite.....	5
1.2 Työn rakenne ja -rajaukset	6
2 Yhdyskuntaliette yleisesti	8
2.1 Yhdyskuntalietteen sisältämiä haitta-aineita ja muita ominaisuuksia.....	8
2.2 Yhdyskuntalietteen koostumus.....	10
2.3 Yhdyskuntalietteen käyttö energiantuotannossa	13
3 Yhdyskuntalietteen esikäsittely	16
3.1 Lietteen tiivistys	16
3.1.1 Lietteen laskeutustiivistys eli gravitaatiotiivistys	16
3.1.2 Lietteen flotaatiotiivistys.....	17
3.2 Lietteen stabilointi	17
3.2.1 Kalkkistabilointi.....	18
3.2.2 Anaerobinen mädätys.....	18
3.2.3 Kompostointi.....	19
4 Yhdyskuntalietteen kuivaus	21
4.1 Mekaaninen kuivaus.....	22
4.1.1 Linkokuivain	22
4.1.2 Suotonauhapuristin.....	23
4.2 Terminen kuivaus	23
4.2.1 Leijupetikuivain lietteelle	25
5 Kuivatun yhdyskuntalietteen poltto	26
5.1 Kuivatun yhdyskuntalietteen poltto-ominaisuudet.....	26
5.2 Yhdyskuntalietteen poltto PAKU-laitoksessa	27
5.3 Yhdyskuntalietteen polton päästöt	29
5.3.1 Yhdyskuntalietteen polton kaasumaiset päästöt	30
5.3.2 Yhdyskuntalietteen polton tuhka ja sen hyötykäyttö	31
6 Yhteenvedo	33
Lähdeluettelo	35

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset aakkoset

LHV tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]

l latentti lämpö [MJ/kg]

m massa [kg]

Kreikkalaiset aakkoset

w pitoisuus [-]

Alaindeksit

ar tulotilassa

ash tuhka

dry kuiva

daf kuiva ja tuhkaton

ka kuiva-aine

Lyhenteet

BFB kuplapetikattila

CFB kiertopetikattila

ECN Energy research Center of the Netherlands

PF pölypoltto kattila

1 JOHDANTO

Jäteveden puhdistuksessa syntyy lietettä. Siihen tiivistetään veden epäpuhtaudet. Tällöin puhdas vesi voidaan päästää takaisin luontoon mahdollisimman pienillä ympäristöseurauksilla. Nykyisin Suomessa yhdyskuntalietettä käytetään pääasiassa kompostituotteena ja viherrakentamiseen. Lietteessä on kuitenkin vedenpuhdistusprosessista poistetut haitta-aineet. Näillä hyötykäyttömenetelmillä haitta-aineet päätyvät maaperään.

Jätevedessä ja siitä saatavassa yhdyskuntalietteessä on paljon resursseja, kuten kasveille hyödynnettävässä muodossa olevaa fosforia ja typpeä sekä erilaisia metalleja. Esimerkiksi Amsterdamissa ei haluta enää ajatella yhdyskuntalietettä jätteenä, vaan resurssina. (Van der Hoek 2016.) Esimerkiksi fosforia tarvitaan paljon, mutta nykyisin käytettävät fosforilannoitteet riittävät vain seuraavat 60-125 vuotta. Näin tarvitaan vaihtoehtoisia fosforin lähteitä. Yhdyskuntalietteistä sitä voi eristää lietteestä tai polton jälkeisestä tuhkasta. Tuhkassa on paljon haitta-aineita, eikä sitä saa käyttää suoraan lannoitustarkoituksiin. (Koskinen 2010. 48-51.)

Monessa Euroopan maassa joko on olemassa lainsäädäntöä jäteveden sisältämän fosforin talteenoton ja kierrätyksen lisäämiseksi, tai sellainen on tulossa. Näin edistetään fosforin kiertotaloutta. Esimerkiksi Sveitsin lainsäädäntö vaatii jätevesilietteen fosforin talteenoton lietteestä tai sen tuhkasta. Siirtymäajaksi on mainittu kymmenen vuotta. Suomessa vastaavaa lainsäädäntöä ei ole, eikä ainakaan vielä ole sellaista tulossa. (Berninger et al. 2017. 34-35.)

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena on esittää yhdyskuntalietteen käsittelyn tämänhetkistä tilannetta Suomessa, lietteen vaihtoehtoista käsittelyä ja lopullista hyötykäyttöä. Työn pääpainona on esitellä lietteen kompostointi ja lietteen poltto. Työssä selitetään myös yhdyskuntalietteen ominaisuuksia. Tarkemmin käydään läpi lietteen sisältämiä haitta-aineita. Haitta-aineilla on merkitystä lietteen hyötykäytön suunnittelussa. Työssä myös mainitaan joitain tapoja minimoida näiden haitta-aineiden ympäristövaikutuksia.

Työssä keskitytään pääasiassa Suomen tilanteeseen. Joidenkin muiden maiden tilanteita mainitaan. Muista maista on saatavilla enemmän tutkimusta yhdyskuntalietteen polton vaikutuksista. Esimerkiksi muualla Euroopassa ja Japanissa väestötiheys on paljon suurempi kuin Suomessa. Siten tiheissä väestökeskittymissä yhdyskuntalietteen määrä on aiheuttanut ongelmia. Koska kaupungistuminen on nykyajan trendi, Suomessakin väestömäärä kaupunkien sisällä tulee kasvamaan. Jotta yhdyskuntalietteen prosessoimisesta ei tulisi ongelmaa tulevaisuudessa, pitää Suomenkin tutkia aihetta. Työssä pyritään löytämään paras tapa käsitellä yhdyskuntalietettä.

1.2 Työn rakenne ja -rajaukset

Kappaleessa 2 esitetään joitain yhdyskuntalietteen ominaisuuksia. Kappaleessa keskitytään energiantuotannon ja ympäristönsuojelun näkökulmiin. Kappaleessa myös verrataan eri tavalla käsiteltyjen yhdyskuntalietteiden koostumuksia ja lämpöarvoja. Tämä tehdään kuitenkin rajoitetusti. Yhdyskuntalietteessä on paljon haitta-aineita, kuten raskasmetalleja, haitallisia kemikaaleja, antibiootteja, lääkaineita ja patogeeneja. Kompostointi tai anaerobinen mädätys eivät poista haitallisia yhdisteitä. Lietteellä on korkea kosteus- ja tuhkapitoisuus. Nämä vaikuttavat yhdyskuntalietteen poltettavuuteen.

Kappaleessa 3 esitetään yhdyskuntalietteen esikäsittelyä. Liette pitää tiivistää ja stabiloida. Tiivistämisessä lietteen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan ja vettä poistetaan. Kappaleessa selitetään tarkemmin kaksi eri tiivistysmenetelmää. Stabiloinnin tarkoitus on saattaa liete tilaan, jossa se on turvallista kuljettaa, varastoida ja käsitellä. Kappaleessa selitetään tarkemmin kolme eri stabilointimenetelmää. Selitettävät menetelmät rajataan kalkkistabilointiin, anaerobiseen mädätykseen ja kompostointiin. Kappaleessa selitetään myös menetelmien soveltuvuus energiantuotantoon. Tekniikkoja käyttävät esimerkkilaitokset mainitaan.

Kappaleessa 4 kerrotaan yhdyskuntalietteen kuivaamisesta. Yhdyskuntalietteen kosteuspuiteisuus on suuri. Kuivauksen jälkeen lietettä on helpompi jatkojalostaa. On olemassa mekaanisia-, termisiä- ja biokuivaimia. Kappaleessa selitetään tarkemmin mekaaninen ja terminen kuivaus. Mekaanisilla kuivaimilla päästään eroon vapaasta vedestä ja adheesio- ja kapillaarivedestä. Kuivaustulosta voidaan parantaa kemikaaleilla. Terminen kuivaus haihduttaa vettä lämmöllä. Termisesti voi poistaa myös solunsisäistä

vettä. Biokuivaus rajataan aiheen ulkopuolelle. Kappaleessa selitetään tarkemmin linkokuivain, suotonauhapuristin ja leijupetikuivain.

Kappaleessa 5 kuvaillaan yhdyskuntalietteen poltto-ominaisuuksia, -tapoja, polton ympäristövaikutuksia ja tuhkan ominaisuuksia sekä hyötykäyttöä. Yhdyskuntalietettä voi polttaa yksinään tai seospoltossa. Yhdyskuntaliete tekee kattilasta jätteenpolttokattilan. Näin kattilaan sovelletaan tiukempia päästörajoja. Kappaleessa kuvataan tarkemmin PAKU-laitosta yhdyskuntalietteen polttotapana. PAKU-laitos on yksinkertainen lämpöä ja sähköä tai jompaakumpaa tuottava voimalaitos. Siinä osa tai kaikki lämmöstä käytetään lietteen termiseen kuivaamiseen ennen polttoa. Esimerkiksi vain sähköä tuottavan voimalaitoksen lauhdutin on integroitu kuivattamaan lietteen polttovalmiiksi. Kappaleessa käydään läpi polton päästöjä. Savukaasupäästöjä tarkastellaan vain lyhyesti. Tuhkan koostumusta, -muodostumista ja -hyötykäyttöä käydään läpi tarkemmin. Poltossa yhdyskuntalietteen raskasmetallit ja fosfori rikastuvat prosessin tuhkaan.

2 YHDYSKUNTALIETE YLEISESTI

Tässä kappaleessa käydään läpi yhdyskuntalietteen ominaisuuksia, sen sisältämiä haitta-aineita, -koostumusta sekä sen käyttöä energiantuotannossa. Joitakin ominaisuuksia rajataan aiheen ulkopuolelle.

Yhdyskuntaliete on yhdyskunnan vedenpuhdistamoille kulkeutunutta ainesta. Tämä muodostuu esimerkiksi kotitalouksien jätevesistä ja muusta viemäriverkoston päätyvästä jätevedestä, kuten teollisuuden jätevesistä ja hulevesistä. Kotitalouksissa jätevettä ohjataan viemäriverkoston esimerkiksi vessoista, suihkuista, lavuaareista, pyykinpesukoneista ja tiskikoneista. Jätevedenpuhdistamoilla tämä vesi puhdistetaan ja kiintoaine sakeutetaan lietteeksi.

Jätevedenpuhdistamoilla vesi pyritään puhdistamaan ja siitä tullut liete käyttämään hyödyksi jossain muualla. Lietteen käyttötarkoitusta päätettäessä täytyy pitää silmällä sen koostumusta. Lietteen koostumus ei ole vakio vaan riippuu vedenpuhdistamolle menevän jäteveden koostumuksesta. Tiettyjen aineiden, kuten raskasmetallien ja lääkeaineiden, pitoisuudet vaikuttavat lietteen loppukäyttöön.

2.1 Yhdyskuntalietteen sisältämiä haitta-aineita ja muita ominaisuuksia

Tässä kappaleessa käydään läpi erilaisia yhdyskuntalietteen sisältämiä haitta-aineita ja sen muita ominaisuuksia. Haitta-aineiden aiheuttamia ongelmia ja kulkeutumista luonnossa käydään läpi. Selitetyt haitta-aineet rajoittuvat lääkeaineisiin, patogeeneihin, fluorattuihin yhdisteisiin, antibiootteihin ja mikromuoviin. Raskasmetallien vaikutukset ja kulkeutuminen mainitaan seuraavassa kappaleessa.

Yhdyskuntalietteet ovat ravinnepitoisia lietteitä. Niissä on suoraan vedenpuhdistamolta tullessa paljon vettä. Niissä esiintyy erilaisia haitta-aineita, kuten lääkeaineita, raskasmetalleja ja teollisuudessa käytettäviä yhdisteitä. Lietteessä on myös patogeeneja. Viherrakentamisessa haitta-aineet voivat aiheuttaa ongelmia esimerkiksi rikastumalla syötäviin kasveihin ja eläimiin sekä kulkeutumalla vesistöihin ja pohjavesiin. Lietteen käytössä on rajoituksia lannoitekäytössä. (Fjäder 2016. 3. 11-17.)

Lietteessä olevat lääkeaineet aiheuttavat ongelmia loppukäytössä. Esimerkiksi Suomen pääkaupunkiseudun alueella on paljon sairaaloita ja vanhainkoteja. Tällöin lääkeaineita kulkeutuu paikallisille jätevedenpuhdistamoille ja niiden puhdistusprosessit kuormittuvat. Muutenkin yksityishenkilöiden käyttämät lääkkeet päätyvät vedenpuhdistamoille ihmisten läpi joko muuntuneina yhdisteinä tai alkuperäisessä muodossaan. Muuntuneetkin lääkeaineet voivat muuntua takaisin alkuperäisiksi lääkeaineiksi esimerkiksi puhdistamoilla tai vasta ympäristössä. Näin niiden todellisia pitoisuuksia on hankala todentaa. Vedenpuhdistuslaitoksessa lääkeaineet menevät joko veden mukana tai sitoutuvat lietteeseen. Pääkaupunkiseudun Viikinmäen ja Suomenojan lietteet menevät Metsäpirtin kompostikentille. Kompostikentiltä komposti päätyy maatalouteen, viherrakentamiseen ja yksityiseen käyttöön. Lääkeaineista esimerkiksi ibuprofeeni ja diklofenaakin suotuu maakerrosten läpi pohjaveteen. (Fjäder 2016. 3. 11-17, 22-23, 43, 52.) Lääkeaineiden kertymistä luontoon pitää tutkia lisää. Lääkeaineiden kertymisen seurauksista luonnolle tiedetään vähän.

Yhdyskuntaliete sisältää antibiootteja samasta syystä kuin muitakin lääkeaineita. Antibiootit pysyvät Suomen Ympäristökeskuksen kenttätutkimuksen mukaan pitkään yhdyskuntalietekompostilla lannoitetussa maaperässä. Tutkimuksessa tämä ominaisuus pysyi etenkin, mikäli antibioottiresistenttejä bakteerikantoja maaperässä ei ollut. Tutkimuksen mukaan antibioottien vaikutusta maaperään ei siis voi sulkea pois. (Fjäder 2016. 51, 54.) Antibioottien vaikutuksesta maaperän eliöihin ja bakteerikantoihin tarvitaan lisää. Antibioottiresistenttisiä bakteerikantoja kehittyä koko ajan lisää. Miten antibioottien määrä maaperässä vaikuttaa asiaan, ei tiedetä.

Yhdyskuntalietteeseen kulkeutuu erilaisia kemikaaleja, kuten fluorattuja yhdisteitä. Kompostoitaaessa nämä yhdisteet näyttävät säilyvän tuhoutumatta. PFAS-yhdisteitä voi löytää palonestoaineista ja elektroniikasta. Niitä käytetään hyvien vettä-, likaa- ja rasvaa hylkivien ominaisuuksiensa vuoksi. Näitä sisältäviä tuotteita pestessä PFAS-yhdisteitä saattaa irtaantua ja kulkeutua vedenpuhdistuslaitokselle ja sieltä lietteeseen ja eteenpäin kompostituotteeseen. PFAS-yhdisteet kulkeutuvat maaperässä ja saattavat päätyä pohjaveteen. Orgaaninen aines vaikuttaa pidättävän yhdisteiden kulkua. Suuremmat molekyylivetjät kulkevat alaspäin hitaammin kuin pienemmät. Näin ollen suuremmat yhdisteet todennäköisemmin löytyvät suurempina pitoisuuksina lähempää maan pintaa.

PFAS-yhdisteet myös rikastuvat ravintoketjussa, kun kompostituotetta käytetään paljon tai usein. Eliöissä PFAS-yhdisteet kertyvät eniten elimistöä puhdistaviin elimiin, kuten maksaan ja munuaisiin. PFAS-yhdisteet eivät poistu helposti virtsan tai ulosteen mukana. Ihmiselle PFAS-yhdisteet ovat haitallisia ja suuremmissa pitoisuuksissa voivat aiheuttaa maksasairauksia, heikentynyttä immuunipuolustusta sekä kehityksen ja lisääntymisen häiriöitä. (THL 2017 & Fjäder 2016. 46.) Miten PFAS-yhdisteet käyttäytyvät polttoprosessissa, pitäisi tutkia enemmän. Oletettavasti yhdisteet hajoavat tai muuntuvat muiksi tuotteiksi.

Yhdyskuntalietteen mukana kulkeutuu mikromuovia (Fjäder 2016. 55). Sitä tulee esimerkiksi kosmetiikasta ja joidenkin tekstiilien pesusta, kuten polyesteri- ja akryylikankaista. Yhdyskuntalietteen poltossa, kuten PAKU polttolaitoksessa, mikromuovi palaa pois (ENDEV 2017a.) Kompostoinnissa mikromuovi jää tuotteeseen ja sitä kautta maaperään.

2.2 Yhdyskuntalietteen koostumus

Tässä kappaleessa käydään läpi yhdyskuntalietteen koostumusta. Kappaleessa keskitytään lietteen poltto-ominaisuuksiin. Muut ominaisuudet rajataan pääosin aiheen ulkopuolelle. Kappaleessa on myös otettu käsiteltäväksi eri tavalla käsiteltyjä yhdyskuntalietteitä. Näitä lietteitä verrataan toisiinsa. Lietteiden vertailua tehdään kuitenkin rajoitetusti.

Yhdyskuntaliete ei ole koostumukseltaan vakio. Sen koostumus muuttuu vedenpuhdistamolle tulevan kiintoaineen mukaan. Vedenpuhdistamon päätavoite on puhdistaa vettä. Näin haitta-aineet pyritään siirtämään vedestä lietteeseen.

Kuivaamattoman yhdyskuntalietteen kuiva-ainepitoisuus on matala. Raakayhdyskuntaliete sisältää vain 3-5 % kuiva-ainetta (Lohiniva et al. 2001, 17-18). Yhdyskuntaliete kuivataan erilaisilla kuivausmekanismeilla ennen kuin se voidaan ohjata hyötykäyttöön. Varsinkin poltossa lietteen kosteuspuiteisuus alentaa siitä saatavaa energiaa.

Yhdyskuntalietteessä on erilaisia raskasmetalleja, jotka aiheuttavat hankaluuksia polttoprosessissa ja tuhkan jatkokäytössä. Näiden vaikutuksia käydään läpi myöhemmissä kappaleissa. Raskasmetallit rikastuvat tuhkaan.

Taulukko 1 sisältää tietoa yhdyskuntalietteen koostumuksesta. Tieto käsittelemättömän yhdyskuntalietteen sarakkeeseen on otettu kirjasta *Fuel Handbook* liitteestä B18. Tieto on alun perin lähtöisin ruotsalaisesta tutkimuksesta, jonka tilasi muun muassa *TPS Branschforskningsprogram för Energiverk ja Värmeforsk*. Tiedot on otettu sarakkeesta *mean*. (Strömberg 2006, 4 & liite B.18.) Taulukon tiedot granulaatille, termisesti kuivatulle ja kuivattu polttoa varten on otettu Phyllis2 tietokannasta. Granulaatin tunnistusnumero tietokannassa on #941. Sitä on testattu ECN:än CFB kaasutuslaitoksessa seospolttoaineena purkupuun kanssa Alankomaissa. Termisesti kuivatun tunnistenumero on #2192. Se on termisesti kuivattua yhdyskuntalietettä, joka on tarkoitettu seospolttoon maakaasun kanssa Alankomaissa. Kuivattu polttoa varten tiedot on niin ikään Phyllis2 tietokannasta. Sen tunnistenumero on #2188. Materiaali on yhdyskuntalietettä, jota poltetaan PF kattilassa UNA Amsterdamissa. (Phyllis2.)

Taulukko 1 Yhdyskuntalietteen koostumuksia eri lähteistä (Phyllis2, Strömberg 2006, liiteB18)

			Käsittelemätön (vedenpoisto suoritettu)	Granulaatti (Phyllis2 ID #941)	Termisesti kuivattu (Phyllis2 ID #2192)	Kuivattu polttoa varten (Phyllis2 ID #2188)
	Yksikkö					
Ominaisuus	Kosteus	[% wt]	73,9	10,6	10	12,8
	Tuhka- pitoisuus	[% wt _{dry}]	43	36	44	35,3
	Volatile	[% wt _{daf}]	88	82,19	-	-
	LHV	[MJ/kg _{daf}]	20,7	21,54	22,31	21,82
Alkuaine- analyysi	C	[% daf]	52,25	52,2	49,6	52,64
	H	[% daf]	7,35	7,27	8,93	8,86
	O	[% daf]	31,3	30,68	26,95	28,27
	S	[% daf]	2,05	2,61	2,78	3,01
	N	[% daf]	6,8	7,06	8,93	6,91
	Hivenaineet	Cl	[mg/kg _{daf}]	0,12 % _{daf}	1500	27777,8
F		[mg/kg _{dry}]	-	281,6	200	114,7
Al		[mg/kg _{dry}]	51443 _{ash}	20300	-	-
K		[mg/kg _{dry}]	4035 _{ash}	2250	20000	-
Na		[mg/kg _{dry}]	4658 _{ash}	1600	20000	-
Ca		[mg/kg _{dry}]	53557 _{ash}	39000	-	-
Si		[mg/kg _{dry}]	87708 _{ash}	32600	-	-
Mg		[mg/kg _{dry}]	10705 _{ash}	3700	-	-
Fe		[mg/kg _{dry}]	146556 _{ash}	50800	-	-
P		[mg/kg _{dry}]	64367 _{ash}	21900	50000	-
Ti		[mg/kg _{dry}]	2923 _{ash}	420	-	-
As		[mg/kg _{dry}]	16 _{ash}	5,6	50	12
Cd		[mg/kg _{dry}]	3,2 _{ash}	1,4	20	2,9
Co		[mg/kg _{dry}]	18 _{ash}	6,6	50	-
Cr		[mg/kg _{dry}]	79 _{ash}	64	150	70
Mn		[mg/kg _{dry}]	1000 _{ash}	450	1500	-
Ni		[mg/kg _{dry}]	56 _{ash}	405	200	40
Pb		[mg/kg _{dry}]	100 _{ash}	170	400	300
V		[mg/kg _{dry}]	39 _{ash}	14	50	-
Zn		[mg/kg _{dry}]	1560 _{ash}	930	2500	1500
Ba		[mg/kg _{dry}]	1000 _{ash}	400	1000	650
Mo		[mg/kg _{dry}]	12,1 _{ash}	6,4	20	-
Hg		[mg/kg _{dry}]	3,47 _{ash}	2,3	-	3
Sn		[mg/kg _{dry}]	-	24	50	-
Sr		[mg/kg _{dry}]	-	350	-	-

Taulukko 1 näyttää minkälaisia koostumuksia yhdyskuntalietteellä voi olla. Kaikista neljästä lähteestä ei ollut saatavilla kaikkia tietoja verrattavissa muodoissa. Tiedot on saatettu mitata tai laskea eri tavalla. Joistain yhdyskuntalietteistä ei ole joko mitattu tiettyjä aineita tai päästy niissä yli määritysrajan. Taulukko 1 kuitenkin näyttää suurin piirtein, mitä yhdyskuntalietteessä voi olla eri tavalla käsiteltynä ja eri paikoista otettuina. Käsittelemättömän yhdyskuntalietteen osa alkuainepitoisuuksista on otettu tuhka-analyysistä. Taulukon 1 C-, H-, O-, S- ja N-pitoisuudet vaikuttavat olevan lähellä toisiaan. Niiden teholliset lämpöarvotkin vaikuttavat olevan lähellä toisiaan noin 20-22 MJ/kg_{daf}.

Taulukon 1 mukaan yhdyskuntalietteen rikki-pitoisuus on noin 2-3 %_{daf}. Yhdyskuntalietteen rikki-pitoisuus on suhteellisen korkea. Tämä pitää ottaa huomioon polton savukaasunpuhdistuslaitteistoa valitessa. Vertauksena puun rikki-pitoisuus on noin 0,03 %_{daf} (Strömberg 2006, liite B.1).

2.3 Yhdyskuntalietteen käyttö energiantuotannossa

Tässä kappaleessa mainitaan, miten yhdyskuntalietettä voi käyttää energiantuotannossa. Kappaleessa lasketaan taulukon 1 tehollinen lämpöarvo lietteen tulotilaan. Näin tarkastellaan lietteen tuhkapitoisuuden ja kosteuspitoisuuden vaikutusta lietteen lämpöarvoon. Kappaleessa mietitään myös lietteen nykykäyttöä energiantuotannon kannalta.

Yhdyskuntalietteen käyttö energiantuotannossa kilpailee viherrakentamisen ja lannoitteena käytön kanssa. Suomessa lietettä käytetään pääasiassa muihin tarkoituksiin kuin polttoon (Koskinen 2010. 22). Energiantuotannossa lietteestä voi tehdä biokaasua, sen voi polttaa tai tuottaa biokaasua ja sen jälkeen polttaa sen hydrolyysijäännös. Hydrolyysijäännöksen poltto ei ole tehokasta, koska osa lämpöarvosta menee biokaasuun. Varsinkin Suomen suurimmissa vedenpuhdistuslaitoksissa usein tuotetaan biokaasua, joka käytetään laitoksen energiantuotantoon. Näin tehdään esimerkiksi Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla (HSY 2017). Maailman suurissa laitoksissa lietteet usein poltetaan, koska niiden määrät ovat niin suuria. Esimerkiksi Zürich:issa on yhdyskuntalietteen polttolaitos, joka polttaa yli 70 jätevedenpuhdistuslaitoksen lietteet (Outotec 2016, 1).

Taulukossa 1 on vertailtavana eri tavalla muokattuja lietteitä. Niiden tehollinen lämpöarvo (LHV) on annettu tuhkattomana ja kuivana, jotta niitä voisi vertailla keskenään. Kuitenkin tällä tavalla ilmaistuna ei oteta huomioon niiden vesi- tai tuhkapitoisuutta. Tuhkapitoisuus pienentää lämpöarvoa, koska kuivatussa ja tuhkattomassa lämpöarvossa kaikki aines palaa. Todellisessa polttoaineessa on myös palamatonta ainesta, joka poistuu tuhkana. Sama toimii polttoaineen vesipitoisuudellekin. Polttoaineen veden höyrystäminen jopa vie energiaa polttoprosessissa. Seuraavissa yhtälöissä lasketaan lietteiden teholliset lämpöarvot niiden tulotilassa.

Lietteen kuivasta ja tuhkattomasta lämpöarvosta (LHV_{daf}) saadaan kuiva lämpöarvo (LHV_{dry}), kun lisätään LHV_{daf} :iin taulukon 1 mukainen tuhkan osuus. LHV_{dry} lasketaan yhtälöllä

$$LHV_{dry} = LHV_{daf} \cdot (1 - w_{ash}) \quad (1)$$

missä LHV_{dry} on kuiva tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]

LHV_{daf} on kuiva ja tuhkaton tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]

w_{ash} on tuhkan massaosuus [-]

Yhtälöön (1) LHV_{daf} saadaan taulukosta 1 kohdasta LHV ja w_{ash} kohdasta tuhkapitoisuus. Tuhkapitoisuus pitää muuttaa pois prosenttiyksiköistä

$$w = prosenttipitoisuus \cdot 0,01 \quad (2)$$

missä w on pitoisuus [-]

prosenttipitoisuus on aineen pitoisuus prosentteina [%]

Yhdistämällä yhtälöt (1) ja (2) saadaan taulukon 1 käsittelemättömälle yhdyskuntalietteelle

$$LHV_{dry} = 20,7 \text{ MJ/kg} \cdot (1 - 0,43) = 11,79 \text{ MJ/kg}.$$

Yhtälöiden (1) ja (2) mukaan lasketaan LHV_{dry} myös granulaatille, termisesti kuivatulle ja kuivattu polttoa varten. Nämä tulokset laitetaan taulukkoon 2.

LHV_{ar} saadaan LHV_{dry} :stä, kun LHV_{dry} :hen lisätään taulukon 1 mukainen veden osuus ja veden osuuden haihduttamisen vaatima lämpö lämpötilassa 25°C. Näin saadaan yhtälö

$$LHV_{ar} = LHV_{dry} \cdot (1 - w_{H_2O}) - l \cdot w_{H_2O} \quad (3)$$

missä LHV_{ar} on tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]

w_{H_2O} on polttoaineen kosteuspitoisuus [-]

l on veden latentti lämpö [MJ/kg]

Yhtälön (3) kosteuspitoisuus saadaan taulukosta 1 kohdasta kosteus. Kosteuspitoisuus muutetaan yhtälöllä (2) toivottavaan muotoon. Veden latentiksi lämmöksi valitaan 2,441 MJ/kg lämpötilan 25 °C mukaan. Yhtälöllä (2) ja (3) saadaan käsittelemättömälle yhdyskuntalietteelle tehollinen lämpöarvo tulotilassa

$$LHV_{ar} = 11,79 \text{ MJ/kg} \cdot (1 - 0,739) - 2,441 \text{ MJ/kg} \cdot 0,739 = 1,28 \text{ MJ/kg}.$$

Yhtälöiden (2) ja (3) mukaiset laskut tehdään myös muille yhdyskuntalietteiden koostumuksille ja laitetaan taulukkoon 2.

Taulukko 2. Yhdyskuntalietteen tehollinen lämpöarvo kuivana ja tuhkattomana, kuivana sekä tulotilassa

Yhdyskuntaliete	LHV_{daf}	LHV_{dry}	LHV_{ar}^*
Käsittelemätön	20,7	11,79	1,28
Granulaatti	21,54	13,79	12,07
Termisesti kuivattu	22,31	12,49	11,00
Kuivattu polttoa varten	21,82	14,12	11,20

*Latentti lämpö on 2,441 MJ/kg lämpötilassa 25 °C

Taulukko 2 ilmaisee lietteen tehollisen lämpöarvon myös kuivana (LHV_{dry}) ja lietteen tulotilassa (LHV_{ar}). Arvojen muutoksesta huomataan, että tuhkan ja veden osuudet polttoaineessa tekevät tehollisesta lämpöarvosta pienemmän. Lietteiden LHV_{ar} :llä voidaan verrata esimerkiksi eri kuivaustapojen vaikutusta teholliseen lämpöarvoon. Näin tiedetään, että käsittelemätön liete ei sovellu polttoon, koska sen tehollinen lämpöarvo on niin alhainen. Mitä suurempi polttoaineiden LHV_{ar} on, sitä enemmän siitä saadaan energiaa poltossa. Muiden kuin käsittelemättömän yhdyskuntalietteen LHV_{ar} on polttoon sopiva.

3 YHDYSKUNTALIETTEEN ESİKÄSITTELY

Tässä kappaleessa käydään läpi yhdyskuntalietteen esikäsittelyä sen tiivistyksen ja stabiloinnin näkökulmasta. Stabiloinnissa otetaan huomioon lietteen käyttö energiantuotannossa ja eri menetelmien ympäristövaikutukset. Stabilointimenetelmistä pyritään antamaan esimerkkilaitos Suomesta. Kappaleessa keskitytään Suomen olosuhteisiin. Kappaleessa ei pääosin oteta huomioon taloudellista näkökulmaa.

Yhdyskuntaliete pitää esikäsitellä, jotta se saadaan helpommin hyödynnettävään muotoon. Esikäsittelyyn kuuluu tiivistys, stabilointi ja kunnostus. (Lohiniva et al. 2001, 38.) Kunnostus tapahtuu pääosin eri vaiheissa. Sen tarkoituksena on parantaa lietteen laadun yhtenäisyyttä ja parantaa sen vedenpoisto-ominaisuuksia. Kunnostuskemikaalit tulee valita siten, että ne eivät aiheuta ongelmia muissa prosesseissa, kuten poltossa tai kompostoinnissa. (Lohiniva et al. 2001, 49-50.) Kunnostus rajataan pääosin aiheen ulkopuolelle.

3.1 Lietteen tiivistys

Tiivistyksen tarkoituksena on nostaa lietteen kuiva-ainepitoisuutta noin 4–5 %:iin. Tiivistykseen voi käyttää gravitaatio-, flotaatiotiivistystä, suodatinrumpua tai kaariseulaa. (Lohiniva et al. 2001, 38.) Tässä kappaleessa selitetään tarkemmin laskeutustiivistys ja flotaatiotiivistys. Mekaaniset vedenpoistomenetelmät ovat osittain samoja kuin mekaaniset kuivausmenetelmät. Niitä ei selitetä tarkemmin tässä kappaleessa.

3.1.1 Lietteen laskeutustiivistys eli gravitaatiotiivistys

Lietteen laskeutustiivistyksessä kuiva-ainepitoisuudeksi saadaan noin 2,5–10 %. Se perustuu painovoimaan. Vettä painavammat lietepartikkelit vajoavat pohjaan. Noin 6–12 tunnin kuluttua pohjalta pumpataan sinne vajonnut liete. Tämä vaihe ei saa kestää 12 tuntia pidempään, koska muuten orgaaniset aineet alkavat mädäntyä. Mädäntyminen pienentää lietteen lämpöarvoa. Tämän takia polttoon tähtäävän laitoksen ei kannata mädättää lietettä. (Lohiniva et al. 2001, 38–39.)

Laskeutustiivistys on hidasta ja vaatii paljon tilaa. Siitä aiheutuu myös paljon hajuhaittoja. Siitä saadaan kuitenkin suuri kuiva-ainepitoisuus, sen prosessi on

helppohoitoinen ja sillä on pienet käyttökustannukset. Laskeutustiivistys soveltuu hyvin eri lietetyypeille. (Lohiniva et al. 2001, 38–39.)

Lappeenrannan vanhan vedenpuhdistuslaitoksen Toikansuolla korvaa uusi laitos Hyväristönmäellä. Uudella laitoksella käytetään tiivistykseen gravitaatiosakeutusta. Tällä päästään noin 4–8 %_{ka}. Tiivistyksestä liete johdetaan linkokuivaukseen. (Aluehallintovirasto 2016. 4, 12.) Lingosta selitetään enemmän myöhemmässä kappaleessa.

3.1.2 Lietteen flotaatiotiivistys

Flotaatiotiivistyksessä kuiva-ainepitoisuudeksi saadaan noin 1–5 %. Se soveltuu parhaiten kevyille lietepartikkeleille. Flotaatiotiivistyksessä liotetaan paineenalaista ilmaa kierrätysveteen, joka johdetaan lietteeseen. Lietteessä paine laskee, jolloin paineistettu ilma vapautuu kuplina. Näihin kupliin tarttuu lietepartikkeleita, jotka kohoavat lietteen pinnalle. Tämän jälkeen päällä oleva liete kaavitaan lietekouruun. Flotaatiotiivistyksessä voi käyttää tehosteena polyelektrolyyttejä. (Lohiniva et al. 2001, 39.)

Flotaatiotiivistys on laskeutustiivistystä kalliimpi ja nopeampi tekniikka. Sillä on pienemmät hajuhaitat ja siitä saadaan pienempi kuiva-ainepitoisuus. Flotaatiotiivistys ei kuitenkaan vaadi paljon tilaa. (Lohiniva et al. 2001, 39.)

3.2 Lietteen stabilointi

Lietteen stabilointi on prosessi, jossa liete saatetaan turvalliseen tilaan. Tässä tilassa se voidaan turvallisesti kuljettaa, varastoida tai saattaa lopulliseen sijoituspaikkaan. Koska lietteessä on paljon orgaanista materiaalia, sen biologinen toiminta pitää keskeyttää. Tämä tapahtuu stabiloinnissa. Stabilointimenetelmä määräytyy pitkälti lietteen laadun ja sen lopullisen käyttötarkoituksen mukaan. Stabilointimenetelmiä on kalkkistabilointi, anaerobinen mädätys, kompostointi ja lämpökäsittely. Stabiloinnilla pyritään noin 20 %_{ka}, joka pysäyttää orgaanisen aineksen hajoamisen. Stabilointi voidaan tehdä ennen kuivausta, sen yhteydessä tai sen jälkeen. (Lohiniva et al. 2001. 39-40.)

3.2.1 Kalkkistabilointi

Kaikki biologinen toiminta pysähtyy, kun pH nousee yli 11. Näin terveyshaittoja aiheuttavat patogeenit, kuten virukset ja bakteerit kuolevat. Näin korkea pH voidaan saavuttaa lisäämällä lietteeseen sammutettua kalkkia. Tämä tulee kuitenkin kalliiksi kemikaalikustannusten takia. Tämän takia sitä käytetäänkin yleensä vain pienissä vedenpuhdistuslaitoksissa. (Lohiniva et al. 2001. 40.)

Kalkkistabiloinnissa käytettävä kalkki jää lietteeseen. Tämä muuttaa lietteen laatua. (Lohiniva et al. 2001. 40.) Kalkki voi parantaa lietteen poltto-ominaisuuksia. Jos polttoaineessa on korkea rikkipitoisuus, kalkki vähentää rikkipäästöjä ilmaan. Joihinkin kattiloihin lisätään kalkkia pienentämään rikkipäästöjä. Kalsiumin ylimäärä voi kuitenkin aiheuttaa lasin muodostumista tuhkaan pienemmissä lämpötiloissa (Strömberg 2006. 42). Yhdyskuntalietteen rikkipitoisuus on suhteellisen korkea. Näin kalkkistabilointi on hyvä stabilointimenetelmä. Jos kattilaan menee liikaa kalkkia polttoaineen mukana, kalkki muodostaa alkaliyhdisteitä. Nämä muodostavat kerrostumia kattilaan ja tulistinpinnoille. Kalkkia kulkeutuu myös tuhkan mukana pois prosessista.

3.2.2 Anaerobinen mädätys

Anaerobisessa mädätyksessä tarkoituksena on hajottaa lietteen orgaaninen aines metaaniksi (CH_4), hiilidioksidiksi (CO_2) ja hydrolyysijäännökseksi (Lohiniva et al. 2001. 40). Metaani otetaan talteen ja poltetaan biokaasuna joko vedenpuhdistuslaitoksella tai jonkin muun laitoksen alueella. Suurin osa vedenpuhdistamon tarvitsemasta energiasta voidaan tulla lietteen mädätyksestä saatavasta energiasta. Esimerkiksi Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamo tuottaa biokaasua niin paljon, että se voi tuottaa siitä kaiken tarvitsemansa lämmön ja noin 70 % tarvitsemastaan sähköstä. (HSY 2017.)

Mädätyksessä metaani otetaan talteen, jolloin suuri osa lietteen lämpöarvosta menee biokaasun mukana. Näin tämä stabilointimenetelmä alentaa lietteen tehollista lämpöarvoa. Mädätettyä lietettä ei ole järkevä polttaa, vaan käyttää esimerkiksi viherrakentamiseen. (Lohiniva et al. 2001. 43.) Näin toimitaankin Viikinmäen vedenpuhdistamolla. Mädätetty liete jalostetaan multatuotteiksi, joita käytetään viherrakentamisessa. (HSY 2017.)

Mädätyksessä ongelmana on kemikaalien ja useiden lääkeaineiden pitoisuuksien kasvu mädätyksen aikana. Tämä saattaa johtua siitä, että muuntotuotteet muuntuvat takaisin alkuperäiseksi lääkeaineeksi. (Fjäder 2016. 23.) Raskasmetallit tulevat myös hydrolyysijäännöksen mukana. Tämän takia lopullista tuotetta ei tulevaisuudessa voi käyttää lannoitteena eikä välttämättä edes rakennusmateriaalina. Aikaisemmassa kappaleessa on mainittu muutamia esimerkkejä haitta-aineista yhdyskuntalietteessä ja niiden aiheuttamista haasteista.

3.2.3 Kompostointi

Kompostointi tapahtuu aerobisena mädätyksenä. Siinä päämääränä on tuottaa multaa lannoitteeksi muun muassa pelloille ja metsiin sekä viherrakentamisen. Näin saadaan ravinteita kiertoon ja käytetään vähemmän keinolannoitteita. (Lohiniva et al. 2001. 44-45.) Kompostointi ei sovellu lietteen polttamiseen, koska kuiva-aine menee muuhun käyttöön.

Kompostoinnissa hajotetaan bakteerien avulla lietteen orgaaninen hiili-, vety- ja happisisältöiset yhdisteet hiilidioksidiksi, vedeksi ja stabiiliksi humukseksi. Hajoamisen aikana vapautunut lämpö ohjataan hajoamisprosessin ylläpitoon. Orgaanisia yhdisteitä muutetaan kasveille käyttökelpoiseen muotoon esimerkiksi nitraatiksi ja sulfaatiksi. (Lohiniva et al. 2001. 44, 82-83.)

Kompostoinnissa multatuotteeseen jää yhdyskuntalietteissä olevat haitalliset aineet. Kuten aikaisemmin on kerrottu, valmiiseen tuotteeseen jää raskasmetalleja, haitallisia kemikaaleja, -lääkeaineita ja mahdollisia patogeeneja. Aikaisemmassa kappaleessa on myös selitetty niiden haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Lietteiden käyttöä lannoitustuotantoon ollaankin kieltämässä EU:n tasolla (Berninger et al. 2017. 20). Euroopan komission asetusehdotuksessa mainitaan yhdyskuntalietteen käyttö lannoitetuotannon raaka-aineena, mikäli tietyt raja-arvot haitta-aineiden konsentraatioissa saavutetaan. Näihin lukeutuu aikaisemmin mainitut haitta-aineet. Vaadittujen raja-arvojen saavuttaminen vaatii uusien tekniikoiden kehittämistä ja käyttöönottoa. (Berninger et al. 2017. 20.)

Etelä-Karjalan Toikansuon vedenpuhdistamo kompostoi sen lietteet. Liete kuljetetaan Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy:n Kukkuroinmäen kompostointialueelle. Samaan paikkaan menee myös lähialueiden pienemmiltä puhdistamoilta tullut liete Nuijamaalta, Ylämaalta ja Vainikkalasta. (Kaarlampi 2017. 13.) Kukkuroinmäen kompostialueella lietteeseen sekoitetaan myös kotitalousbiojätettä ja elintarviketeollisuuden biojätettä sekä tukiaineeksi puuhaketta ja turvetta. Kompostia käytetään muun muassa multana, maanparannusaineena ja maisemointiaineena. (Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy 2018.) Tulevaisuudessa näin ei enää todennäköisesti pystytä tekemään lietteen haitta-aineiden takia. Lappeenrannan Lämpövoima Oy:n hakeman ympäristöluvan mukaan Toikansuon jätevedenpuhdistamo korvataan uudella jätevedenpuhdistamolla. Uusi laitos rakennetaan Lappeenrannan Hyväristönmäelle. Alussa uuden laitoksen liete kompostoidaan. Uuden laitoksen alueella on tilavaraus joko lietteen yhteismädätykselle biojätteen kanssa tai lietteen poltolle. (Aluehallintovirasto 2016. 4, 12.)

4 YHDYSKUNTALIETTEEN KUIVAUS

Tässä kappaleessa selitetään yhdyskuntalietteen kuivausta. Kappaleessa selitetään kuivauksen tarpeet ja -tavat sekä kuivauksen soveltuvuus eri jatkojalostuskäyttöön. Kappaleessa käydään läpi mekaanista- ja termistä kuivausta. Kappaleessa keskitytään termiseen kuivaukseen. On olemassa myös biokuivaus, mutta se rajataan aiheen ulkopuolelle. Kappaleessa mainitaan kunkin mainitun kuivaustyyppin esimerkkilaitos leijupetikuvainta lukuun ottamatta.

Yhdyskuntaliete kuivataan yleensä jollain tapaa, koska kuivattua lietettä on helpompi käyttää ja jatkojalostaa. Kuivauksen tarkoitus on nostaa lietteen kuiva-ainepitoisuutta. Pienemmissä vedenpuhdistamoissa kuivaus ei ole kannattavaa kuljetuksen tai stabilointimenetelmän vaatiman kuivauksen jälkeen. Liete viedäänkin pakollisen kuivauksen ja stabiloinnin jälkeen suoraan jatkojalostukseen. Esimerkiksi Ylämaan jätevedenpuhdistamolla Etelä-Karjalassa liete kuljetetaan Kukkuroinmäelle kompostoitavaksi (Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy 2018). Suuremmissa laitoksissa kuivaus tapahtuu ennen jatkokäsittelyä. Eri kuivaustavoilla saadaan eri tuloksia. Kuivaustavat erottavat eri tavalla sitoutunutta vettä. Erilaisia kuivaustapoja on esimerkiksi mekaaninen-, bio- ja terminen kuivaus. (Lohiniva et al. 2001. 52, 58.) Tässä kappaleessa selitetään mekaaninen- ja terminen kuivaus. Biokuivaus rajataan tämän aiheen ulkopuolelle.

Sopiva kuivaustapa valitaan lietteen laadun mukaan. Esimerkiksi sakeutuksella saadaan poistettua vapaata vettä, mekaanisella kuivauksella adheesio- ja kapillaarivettä ja kemiallisen kunnostuksen jälkeen mekaanisesti ja termisesti poistetaan absorptio- ja solunsisäistä vettä. Taulukko 3 kuvaa jätevesilietteeseen sitoutuneen veden osuuksia ja niiden kuivaustapoja. Yhdyskuntaliete on biolietettä ja siinä on paljon solunsisäistä nestettä. Yhdyskuntalietteen kuivaus on näin hankalampaa kuin paljon kuitua sisältävien lietteiden, kuten sellun tuotannosta ylijäävän mustalipeän. (Lohiniva et al. 2001. 52.) Sellun tuotantolaitokset yleensä polttavat mustalipeän erillisessä kattilassa, joka tuottaa laitoksen tarvitsemaa energiaa.

Taulukko 3. Jätevesilietteen vesityyppien osuudet kokonaisvedestä ja niiden kuivaustapa. (Lohiniva et al. 2001 52).

Veden esiintymistapa	Vesityypin osuus lietteen kokonaisvedestä	Kuivaustapa
Vapaa	70-75 %	Sakeutus
Adheesio- ja kapillaari	20-25 %	Mekaaninen
Absorptio- ja solunsisäinen	noin 2 %	Kemiallisen kunnostuksen jälkeen mekaanisesti tai termisesti

4.1 Mekaaninen kuivaus

Mekaaninen kuivaus perustuu usein aineiden tiheyseroihin ja sen tarkoituksena on nostaa lietteen kuiva-ainepitoisuutta. Mekaaninen kuivaus voidaan tehdä esimerkiksi lingolla, suotonauhapuristimella, kammiopuristimella, ruuvipuristimella, imusuodattimella tai kiekkopuristimella. Sopivan kuivaimen valintaan vaikuttaa lietteen laatu ja määrä. Mekaanisista kuivaimista käytetään yhdyskuntalietteiden kuivaamisessa lähinnä linkoja ja suotonauhapuristimia. (Lohiniva et al. 2001. 53-57.) Seuraavassa kappaleessa selitetään tarkemmin linkokuivaimesta ja suotonauhapuristimesta.

4.1.1 Linkokuivain

Linkokuivain toimii keskipakovoiman avulla. Siinä on tietynlainen rumpu, joka pyörii. Kun liete laitetaan lingon sisälle, tiheämpi kuiva-aine päätyy rummun seinille ja vähemmän tiheä vesi ei. Kiintoaine sitten kuljetetaan esimerkiksi ruuvin avulla kartioon ja sieltä eteenpäin. Lingolla kuivausta tehostetaan yleensä polymeerilla. Yhdyskuntalietteilteille tämänkaltainen kuivain voi antaa noin 20-30 % kuiva-ainepitoisuuden. Suuret kunnalliset vedenpuhdistamot käyttävät yleensä linkokuivainta vedenpoistoon. (Lohiniva et al. 2001. 53-54.)

Viikinmäen jätevedenpuhdistamo Helsingissä puhdistaa lähialueidensa jätevesiä. Se on Suomen suurin jätevesienpuhdistuslaitos. (HSY 2017.) Viikinmäen liete ensin mädätetään ja sen jälkeen kuivataan lingolla. Linkokuivauksessa käytetään polymeeria tehosteena. (HSY 2015. 4.)

Lappeenrannan Toikansuon vedenpuhdistamo korvataan uudella laitoksella Hyväristönmäelle. Uudella laitoksella liete kuivataan tiivistyksen jälkeen lingolla. Kuiva-ainepitoisuudeksi saadaan 20–30 %. Polymeeriliuosta käytetään kuivauksen apuna. Mekaanisen kuivauksen jälkeen liete viedään jatkojalostettavaksi. (Aluehallintovirasto 2016. 4, 12.)

4.1.2 Suotonauhapuristin

Suotonauhapuristin toimii painovoiman ja puristustelojen voimin. Siinä vapaata vettä valuu painovoiman vaikutuksesta pois lietteestä. Puristustelojen puristus- ja leikkausvoimat poistavat lietteeseen sitoutunutta vettä. Suotonauhapuristimia käytettäessä käytetään polymeereja kuivaustuloksen parantamiseksi. Yhdyskuntalietteille suotonauhapuristimet saavat 10–20 %_{ka}. Suotonauhapuristimia käytettäessä pitää kuivaimelle tulevan lietteen olla kosteuspitoisuudeltaan tietynlainen. Näin tulevaan lietteeseen lisätään jo kuivattua lietettä tai kuiviketta, kuten turvetta. Suotonauhapuristimella on pieni tehon tarve ja lyhyt kestoikä. Sitä käytetään yleensä pienissä tai keskisuurissa yhdyskuntajätevedenpuhdistuslaitoksissa. (Lohiniva et al. 2001, 54-55.)

4.2 Terminen kuivaus

Tässä kappaleessa selitetään tarkemmin termistä kuivausta. Kappaleessa keskitytään lietteen polttoon tähtäävän termiseen kuivaukseen. Kappaleessa mainitaan eri termisiä kuivureita, mutta niitä ei tarkastella lähemmin. Termisen kuivauksen aiheuttamat kemialliset reaktiot lietteen sisällä rajataan aiheen ulkopuolelle. Termisessä kuivauksessa yhdyskuntaliete steriloituu (Lohiniva et al. 2001, 63). Leijupetikuvain selitetään tarkemmin.

Termisessä kuivauksessa kuivaus tapahtuu lämmöllä. Näin voidaan rikkoa myös solurakenteita, mikä poistaa myös solunsisäistä vettä. Termisellä kuivauksella päästään jopa yli 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Jos termiseen kuivaukseen yhdistetään mekaaninen kuivaus, termisessä kuivauksessa ei tarvitse käyttää yhtä paljon lämpöenergiaa. Lämpöä voi myös hankkia hukkalämpölähteistä ja biokaasutuksesta. (Lohiniva et al, 2001.52, 61-68.)

Varsinkin ennen polttoa lietteen terminen kuivaus on järkevää, koska yhdyskuntalietteen kosteuspitoisuus on niin suuri. Liete aiheuttaa tietynlaisissa voimalaitoksissa hankaluuksia polttoprosessissa. Kostean lietteen vesi suurentaa savukaasuvirtaa, jolloin savukaasun puhdistuslaitteistot pitää mitoittaa suurille savukaasumäärille. Terminen kuivaus vähentää tätä ongelmaa, koska silloin polttoaineessa on vähemmän vettä. Lietteiden tilavuus myös pienenee huomattavasti, jolloin kuljetuskustannuksista voimalaitokselle tai jatkojalostukseen tulee pienemmät. (Lohiniva et al. 2001,52, 61-68.)

Jos termisesti kuivataan liete yli 90 %_{ka}, liete on stabiili. Tämän voi viedä kompostiin tai polttaa. Kompostiin voi viedä jo 50 %_{ka}, mutta siitä syntyy hajuhaittoja. Yli 85 %_{ka} liete ei homehdu varastoitaessa. Poltettavaksi kelpaa myös 35-60 %_{ka}. (Lohiniva et al. 2001, 61.) Polttoon menevän lietteen kuiva-ainepitoisuuden vaatimus riippuu käytetystä kattilasta. Esimerkiksi kuplapetikattila (BFB) sietää korkeitakin kosteuspitoisuuksia ja niiden vaihtelevuutta.

Termisestä kuivauksesta syntyy kaasua- ja pölyhaittoja. Lietteiden sisältämä orgaaninen aine aiheuttaa hajuhaittoja höyrystyessään veden mukana. Nämä kaasut voi ensin lauhduttaa ja sitten polttaa. Tämä on kuitenkin teknisesti haastavaa. Lietteestä voi myös haihtua suurissa lämpötiloissa ammoniakki (NH_3) ja elohopeaa (Hg). Pölyhaittaa voi vähentää käyttämällä sykklonia. (Lohiniva et al. 2001,52, 61-62.)

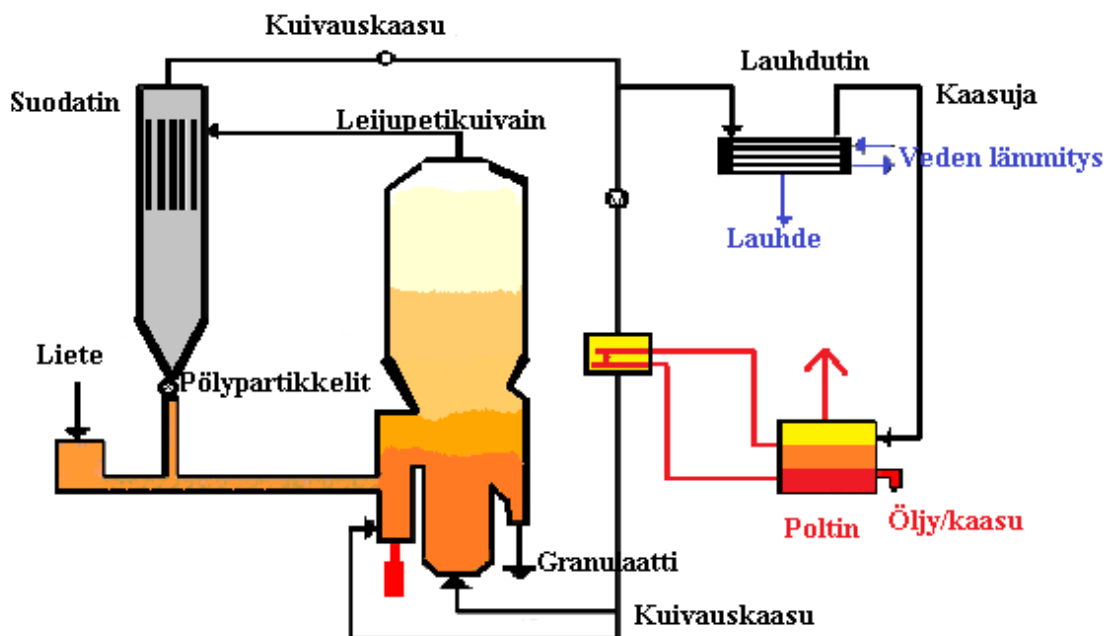
Termiset kuivausmenetelmät perustuvat joko kontaktikuivaukseen tai konvektiokuivaukseen. Kontaktikuivauksessa lämpö siirretään lietteeseen välipinnan kautta. Välipinta kuumennetaan esimerkiksi höyryllä. Näin välipinnalla oleva liete kuivuu. Tässä kuivaustavassa ongelmana voi olla esimerkiksi lietteiden epätasainen kuivuminen ja hygienisointi. Etuna kuivausmenetelmässä on poistettavan kaasun pieni määrä ja hyvä energiankäytön hyötysuhde. Kontaktikuivaimia on esimerkiksi kiekko- ja kierukkauuni sekä täytekappaleuuni. Konvektiokuivurissa lämpö siirretään suoraan esimerkiksi kuumen kaasuvirran avulla suoraan kontaktiin lietteiden kanssa. Lietteiden sisältämä vesi höyrystyy ja poistuu kaasuvirran mukana. Tässä voi käyttää esimerkiksi lietteiden polton savukaasuja hyödyksi. Tällöin savukaasuvirta nousee. Mikäli kuivaus suoritetaan rakeistukseen asti, lieterakeet pitää erottaa kaasuvirrasta sykklonilla. Konvektiokuivauksella on huonompi energiankäyttöhyötysuhde, suurempi poistoilman määrä, pölyn muodostus ja pölynräjähdysriski. Haittoja voi kuitenkin minimoida

teknisillä ratkaisuilla. Yksi on energian talteenoton järjestäminen. Menetelmässä käytetään rumpua tai kuivaushihnaa. (Lohiniva et al. 2001, 62.)

Esimerkiksi Joensuun Kuhasalon jätevedenpuhdistamolla käytetään ensin mädätystä, sitten mekaanista kuivausta ja lopuksi termistä kuivausta. Lopulta kuivattu liete päätyy kompostiin ja sieltä hyötykäyttöön. (Joensuun vesi 2017.)

4.2.1 Leijupetikuivain lietteelle

Leijupetikuivaimessa yhdyskuntaliete kuivataan termisesti leijupedissä. Leijupetikuivaimen periaatekuva on kuvassa 1. Leijupetikuivain on konvektiokuivain. Se käyttää apunaan noin 100–220 °C ilmaa. Ilma syötetään kuvan 1 mukaisesti pedin alta. Pedissä on lohkoja. Liete kulkeutuu niihin kosteutensa mukaan. Kuivaimesta pois tulee valmista granulaattia. Kuivausilma sisältää muun muassa lietteestä kuivattua vettä ja lietepölyä. Pöly erotetaan syklonissa tai kuitusuodattimessa. Kuivausilma vieään lauhduttimen läpi. Näin erotetaan kaasut ja vesi. Kaasut poltetaan esimerkiksi kaasun tai öljyn avulla. Tällä lämmöllä lämmitetään kuivausilma. (Lohiniva et al. 2001, 66.)



Kuva 1. Leijupetikuivain (Lohiniva et al. 2001, 66).

Leijupetikuivaimesta saatava granulaatti sopii hyvin poltettavaksi. Sen kalorimetrinen lämpöarvo on noin 14 MJ/kg (Lohiniva et al. 2001, 66).

5 KUIVATUN YHDYSKUNTALIETTEEN POLTTO

Tässä kappaleessa käydään läpi kuivatun yhdyskuntalietteen poltto-ominaisuuksia, eri polttotapoja sekä polton päästöjä. Polton päästöissä keskitytään polton tuhkaan ja sen hyötykäyttömahdollisuuksiin. Polton savukaasupäästöjen tarkastelu jätetään vähemmälle, koska ne ovat samantapaiset kuin muidenkin polttolaitosten ja ne voidaan minimoida oikeilla laitteistoilla. Kappaleessa käydään tarkemmin läpi PAKU-laitoskonseptia.

Suomessa yhdyskuntalietettä ei juurikaan polteta, koska Suomessa ei ole suurta yhdyskuntalietetuotantoa. Muualla Euroopassa kuitenkin yhdyskuntalietteet aiheuttavat ongelmia suurissa kaupungeissa, joten siellä lietettä yleisemmin poltetaan. Esimerkiksi tästä on Outotecin toimittama yhdyskuntalietteenpolttolaitos Zürich:issa (Outotec 2016, 1.)

Yhdyskuntalietteen poltto voi tapahtua erikseen tai seospoltossa. Lietteen poltto voidaan tehdä eri tavoilla. Kattilan ja laitoksen valinnat ovat tärkeitä. Yhdyskuntalietteen poltto-ominaisuudet riippuvat sen koostumuksesta ja kuiva-ainepitoisuudesta. Esimerkiksi yhdyskuntalietteen kosteuspitoisuus on suuri ja sen tehollinen lämpöarvo on pieni. Näitä voidaan parantaa erilaisilla kuivausmenetelmillä. Lietteen poltossa on paljon haittavaikutuksia sen laadun ja laadun vaihtelun takia. Tämän takia se yleensä poltetaan seospoltossa, jolloin se saa parempia poltto-ominaisuuksia. Seospoltossa pitää kuitenkin ottaa huomioon, että yhdyskuntaliete tekee kattilasta jätteenpolttokattilan, jolloin sille tulee tiukemmat päästörajat. (Lohiniva et al. 2001. 28-29, 68-81.)

5.1 Kuivatun yhdyskuntalietteen poltto-ominaisuudet

Tässä kappaleessa käydään läpi kuivatun yhdyskuntalietteen ominaisuuksia. Kappaleessa keskitytään kuivatun yhdyskuntalietteen poltto-ominaisuuksiin. Tarkemmin käydään läpi lietteen koostumuksen vaikutusta tuhkan sulamispisteeseen. Tarkempi kemiallinen ja fysikaalinen tuhkan sulamispisteen tarkastelu rajataan pois.

Yhdyskuntalietteen polttoon vaikuttaa sen kuivaustapa. Voidaan sanoa, että mitä enemmän sitä kuivataan, sitä korkeampi sen tehollisesta lämpöarvosta tulee. Yhdyskuntalietettä voi polttaa muun muassa seospolttona leijukerroskattiloissa, vain

yhdyskuntalietettä polttavassa lietteille valmistetussa kattilassa ja seospoltossa jätteenpolttolaitoksessa. (Lohiniva et al. 68-81.) Esimerkiksi Amsterdamissa yhdyskuntalietteestä tuotetaan ensin biokaasua. Tämän jälkeen osa fosforista otetaan talteen lannoitteeksi, jonka jälkeen loppu liete poltetaan. (Van der Hoek 2016.)

Taulukko 1 esittää yhdyskuntalietteen koostumusta. Taulukossa 2 on eri tavalla käsiteltyjen yhdyskuntalietteiden laskettuja tehollisia lämpöarvoja kuivana sekä niiden tulotilassa. Taulukon 1 mukaan yhdyskuntalietteessä on paljon fosforia. Jotkut fosforiyhdisteet polttoaineessa madaltavat tuhkan sulamispistettä. Tällöin sulanut tuhka voi aiheuttaa ongelmia kattilassa tuhkan poistossa ja lentotuhkassa. Yhdyskuntalietteessä on paljon muitakin tuhkan sulamispistettä alentavia alkuaineita. Esimerkkejä näistä ovat pii (Si), alumiini (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K) ja natrium (Na). Näiden vaikutusten tarkempi selvitys jätetään työn ulkopuolelle, koska niiden kemiallinen ja fysikaalinen toiminta on haastavaa mallintaa. Alentunut tuhkan sulamispiste voi aiheuttaa esimerkiksi kerrostumia lämmönvaihdingpinnoille. Tämä taas pienentää lämmönvaihtoa ja aiheuttaa korroosioriskin lämmönvaihdingpinnoille. Tämä kaikki pitää ottaa huomioon lietteenpolttokattilaa suunniteltaessa.

5.2 Yhdyskuntalietteen poltto PAKU-laitoksessa

Tässä kappaleessa tutustutaan PAKU-laitoksen konseptiin yhdyskuntalietteen poltossa. Kappaleessa käydään tarkemmin läpi muun muassa PAKU-laitoksen vesi-höyrypiiriä sekä laitoksen tuotantomuotoa. Kappaleessa mainitaan ensimmäinen teollisen mittakaavan laitos sekä potentiaalisesti tulossa oleva laitos.

Yhdyskuntalietettä voi polttaa PAKU-laitoksessa. Laitoskonsepti on tehty yhteistyössä Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston, Endev Oy:n ja muiden yritysten kanssa. (ENDEV Oy 2017b. 6.) Laitos pohjautuu kiertoleijukattilaan. Se on vastapainevoimalaitos. Jos halutaan tuottaa vain sähköä, mitoitetaan turbiinin ulostulo riittäväksi lietteen termiseen kuivaukseen. Terminen kuivain korvaa laitoksen lauhduttimen. Näin ylimääräistä lämpöä ei synny. PAKU-laitoksessa on yksinkertainen rakenne, joka vähentää laitoksen kustannuksia. (Marttila et al. 2008. 37-39.) Toisena vaihtoehtona on mitoittaa laitos tuottamaan myös lämpöä joko kaukolämmöksi tai teollisuuden tarpeisiin. Seospoltto esimerkiksi jonkun biopolttoaineen kanssa on tässä tapauksessa järkevää. Myös pelkän

lämmön tuotanto on mahdollista, jolloin turbiinia ei tarvitse hankkia. (Marttila et al. 2008. 39-40.)

PAKU-teknologialla voi polttaa biokaasutuksen jälkeisen mädätysjäännöksen (ENDEV Oy 2017b. 9). Mädätysjäännöksen tehollinen lämpöarvo on biokaasutuksen jälkeen pienempi. Tällöin siitä ei saa yhtä paljon energiaa kuin ilman biokaasutusta.

PAKU-laitoksen toimintaperiaate on samantapainen kuin muidenkin höyrykattilalaitosten. Prosessista on tehty mahdollisimman yksinkertainen. Näin saadaan laitoksen kustannukset pienenevät. Prosessin kiertoaineena on vesi. Syöttövesi esilämmitetään savukaasukanavassa ekonomaisierissa. Sieltä syöttövesi menee lieriöön. Lieriön kylläinen vesi menee kattilan pinnoilla oleviin putkiin ja sieltä savukaasukanavan läpi takaisin lieriöön. Tämä on kaksivaiheinen höyrystin. Lieriössä kylläinen vesi ja – höyry ovat omissa faaseissaan ja pitävät yllä kylläistä tilaa. Kylläinen höyry viedään tulistimeen, josta se lähtee tuorehöyryarvoissa turbiiniin. Turbiini tuottaa mekaanista energiaa, jonka kautta tuotetaan sähköä generaattorin avulla. Turbiinista poistuva höyry käytetään erillisessä kuivurissa lauhduttimen tai kaukolämmön tuotannon sijaan. Kuivurissa turbiinista poistuva lämpö höyrystää lietteen sisältämää vettä. Tällöin kuivattua lietettä on helpompi polttaa kattilassa. Kuivurista poistuu vettä syöttövesisäiliöön. Sitä lämmitetään lieriön korkeapaineisella vedellä. Syöttövesisäiliöstä vesi pumpataan ekonomaisierin kautta takaisin lieriöön. Laitoksen voi muuttaa CHP-laitokseksi lisäämällä kuivurin rinnalle kaukolämmönvaihtimen. Tuottamalla myös lämpöä sähkön tuotanto pienenee. Laitoksessa voi myös polttaa jotain muuta biopolttoainetta tai seospolttoaineena lietteen kanssa. Laitoksesta voi myös ottaa turbiinin ja generaattorin kokonaan pois ja korvata ne kaukolämmönvaihtimella, jolloin laitos tuottaa vain lämpöä. Kokonaisuudessaan PAKU-laitoksen omakäyttöteho on suuri. (Marttila et al. 2008. 39-40, 43.)

Rovaniemelle ollaan rakentamassa kaupallinen PAKU-laitos. Sen on tarkoitus olla käynnissä vuoden 2019 alusta. Laitoksella on tarkoitus tuottaa vain lämpöä ja fosforipitoista metsälannoitetta. Laitoksen toimittaa ENDEV. (Napapiirin energia ja vesi 2017 & ENDEV 2017a.)

Lappeenrannan Toikansuon jätevedenpuhdistuslaitos korvataan uudella. Uusi laitos rakennetaan Hyväristönmäelle. Aluksi yhdyskuntaliete on tarkoitus kompostoida. Alueelle on kuitenkin tilanvaraus lietteen jatkojalostukselle joko lietteen ja biojätteen yhteismädätykselle tai lietteen poltolle. (Aluehallintovirasto 2016. 4, 12.) Lappeenrannan jäte- ja jätevesiratkaisujen elinkaariarvioinnissa lietteen polttoprosesseista PAKU-prosessi on arvioitu. Elinkaariarvioinnissa ei näytä olevan otettu huomioon yhdyskuntalietteen sisältämiä haitta-aineita eikä niiden konsentroitumista mädätysjäännökseen. PAKU-laitoksen laskenta-arvoina on käytetty pelkkään lämmöntuottoon perustuvia arvoja valmistajalta. Investointikustannus PAKU-laitoksen kohdalla on alhaisin tarkastelluista vaihtoehdoista. Ympäristövaikutuksiltaan yhteismädätys vaikuttaa parhaimmalta vaihtoehdolta. Tässä vaihtoehdossa oletuksena kuitenkin käytetään mädätysjäännöksen soveltuvuutta lannoitustarkoituksiin. (Aaltonen et al. 2014, 30–40.) Näin ei välttämättä ole tulevaisuudessa. Tällöin PAKU-laitos olisi parempi vaihtoehto. Lisätutkimus aiheesta on tarpeen. Tämä rajataan kuitenkin työn ulkopuolelle.

5.3 Yhdyskuntalietteen polton päästöt

Tässä kappaleessa selitetään yleisesti yhdyskuntalietteen poltosta aiheutuvia päästöjä. Kappaleessa keskitytään lietteen polton tuhkaan ja sen mahdolliseen hyötykäyttöön. Kappaleessa mainitaan muutamia päästöjä ja niiden synty- ja poistomekanismeja. Kaasumaisia päästöjä käydään läpi vain yleisellä tasolla ja tarkemmat päästökuvaukset rajataan työn ulkopuolelle.

Yhdyskuntalietteen polton päästöjä ovat muun muassa savukaasupäästöt, pohja- ja lentotuhka. Lentotuhkassa on kattilassa höyrystyneitä raskasmetalleja. Polton jälkeiset sivuvirrat tulee mahdollisuuksien mukaan hyödyntää. Näin päästään lähemmäs kiertotaloutta ja yhdyskuntalietteen sisältämät ravinteet sekä muut arvokkaat aineet saadaan hyödynnettyä.

Yhdyskuntalietteen poltosta saatava tuhka voidaan käyttää lannoitteena fosforin suhteen. Kuitenkin tyyppi menetetään poltossa kaasumaisiin päästöihin. (Manninen & Laitinen 2016. 14.) Fosfori on tärkeä osa maataloutta, eikä sen tuotanto ole kestäväällä pohjalla. Osaratkaisuna tähän ongelmaan voi olla yhdyskuntalietteestä saatava fosfori, joka

voidaan poistaa esimerkiksi kaasutuksen jälkeen tai polton jälkeen. Tuhkasta voidaan poistaa myös muun muassa alumiinia ja kalsiumia. (Gorazda et al. 2017b.)

Taulukosta 1 nähdään, että yhdyskuntalietteessä on klooria. Kloori muodostaa palamistilassa esimerkiksi suolahappoa (HCl). HCl voi poistua savukaasujen tai tuhkan mukana. Kloori voi muodostaa myös myrkyllisiä orgaanisia yhdisteitä, jotka tyypillisesti poistuvat tuhkassa. Miten kloori poistuu prosessista, riippuu polttoaineen laadusta. (Strömberg 2006. 32.) Lietteen laatu on vaihtelevaa, joten laitosta suunniteltaessa tämä pitää ottaa huomioon.

5.3.1 Yhdyskuntalietteen polton kaasumaiset päästöt

Tässä kappaleessa käydään läpi lietteen polton kaasumaisia päästöjä yleisellä tasolla. Joitain päästöjä tarkastellaan lähemmin.

Yhdyskuntalietteen poltossa muodostuu muun muassa hiilidioksidia (CO_2), vettä (H_2O), rikkioksideja (SO_x), typpioksideja (NO_x) ja typpeä (N_2). Oikealla savukaasujen puhdistuslaitteistoilla rikkioksidit saadaan siirrettyä lentotuhkaan (Marttila et al. 2008. 47). Laskennallisesti CO_2 päästöt ovat yhdyskuntalietteelle nolla, koska se on biopolttoaine. Jos seospolttoaineena on mukana ei-biopolttoaine, niin CO_2 päästöt otetaan huomioon. NO_x päästöt voidaan minimoida palamisilman jaolla kattilan eri osiin sekä tulipesän lämpötilan rajoittamisella. Yhdyskuntalietteen palamislämpötilalle on asetettu vähimmäislämpötilaksi $850\text{ }^\circ\text{C}$ kahden sekunnin ajaksi. Näin voi olettaa, että yhdyskuntalietteen palamislämpötila on suhteellisen alhainen, joten lämpötilan rajoittaminen ei välttämättä ole tarpeen.

Taulukosta 1 nähdään, että yhdyskuntalietteessä on elohopeaa (Hg). Sitä poistuu savukaasun ja tuhkan mukana. Elohopeaa sitoutuu meriin, järviin ja jokiin. Niissä se voi muuttua orgaaniseksi elohopeaksi. Orgaaninen elohopea on myrkyllistä ja rikastuu ravintoketjussa. Tämä pitää ottaa huomioon polttolaitoksen savukaasunpuhdistuslaitteistojen valinnassa. (Takaoka et al. 2012.)

5.3.2 Yhdyskuntalietteen polton tuhka ja sen hyötykäyttö

Tässä kappaleessa käydään läpi yhdyskuntalietteen polton tuhkaa ja sen hyötykäyttöä. Kappaleessa mainitaan tiettyjä raskasmetalleja, joita esiintyy tuhkassa. Kappaleessa keskitytään tuhkan käyttöön lannoitteena ja mainitaan lannoitteen raja-arvoja. Kappaleessa käydään läpi fosforin talteenottoa ja sen talteenottomenetelmiä. Tuhkan muodostumiseen ja poistoon käytetään esimerkkinä PAKU-laitosta.

Yhdyskuntalietteen poltossa tuhkaa muodostuu tyypillisesti pohjatuhkana ja lentotuhkana. Esimerkiksi PAKU prosessissa tuhkaa muodostuu kattilan pohjatuhkana noin 10–20 m-% kokonaistuhkasta ja lentotuhkana letkusuodattimelta 90–80 m-%. Lentotuhkaa ja pohjatuhkaa poistetaan prosessista jatkuvasti. Kattilan lämmönsiirtoyksikköön kertyy myös tuhkaa. Se poistetaan yksikön huoltojen yhteydessä. (Marttila et al. 2008. 46.)

Kun poltetaan yhdyskuntalietettä, sen tuhkan tilavuus on vain pieni osa alkuperäisestä lietteestä. PAKU-prosessissa kuivan tuhkan massa märän lietteen massasta on noin 5 % (Marttila et al 2008. 46). Näin loppusijoitettavan tuhkan määrä jää paljon pienemmäksi kuin märän lietteen. Tuhkasta voi myös poistaa tiettyjä aineita jatkokäyttöön. Esimerkiksi fosforia voidaan ottaa talteen tuhkasta ASH DEC-, TetraPhos- ja SESAL-Phos-menetelmillä (Havukainen et al. 2012. i & Gorazda et al. 2017b). Tuhka on myös vapaa patogeneista, koska terminen käsittely tuhoaa ne (Marttila et al 2008. 46). Tuhkassa on myös paljon muita hyödynnettävissä olevia alkuaineita fosforin lisäksi (Halonen 2017, 88).

Joidenkin raskasmetallien höyrystymis- tai sublimoitumispiste on matalampi kuin palamisen lämpötila. Näin ne päätyvät savukaasuihin ja lopulta lentotuhkaan. Osa näistä on esimerkiksi elohopea (Hg), kadmium (Cd) ja arseeni (As). (Marttila et al 2008. 49.) Taulukossa 1 on erään yhdyskuntalietteen tuhkan koostumusta sekä kolmen muun lietteen koostumuksia. Poltossa niiden raskasmetallit oletettavasti päätyvät tuhkaan (Marttila et al. 2008. 49). Taulukossa 4 on EVIRA:n antamia raja-arvoja sallittuihin tuhkan raskasmetallipitoisuuksiin, jos tuhkaa käytetään lannoitteena. Kun verrataan näitä arvoja taulukon 1 arvoihin, huomataan yhdyskuntalietteen tuhkan olevan sellaisenaan sopimaton lannoitetuote. Tuhkasta voi kuitenkin tehdä lannoitetta esimerkiksi poistamalla fosforia

ja jalostamalla siitä lannoitetta. Tämä voidaan saavuttaa esimerkiksi ASH DEC menetelmällä tai muilla jo mainituilla menetelmillä (Havukainen et al 2012. i). Tuhkan käytössä lannoitteena on myös muita rajoitteita ja poikkeuksia. Nämä kuitenkin rajataan työn ulkopuolelle.

Taulukko 4. Tuhkan lannoitekäytön raja-arvoja (EVIRA 2016)

Lannoitteena käytettävän tuhkan raja-arvoja

Aine	Metsä [mg/kg_{ka}]	Muu* [mg/kg_{ka}]
As	40	25
Hg	1	1
Cd	25	2,5
Cr	300	300
Cu	700	600
Pb	150	100
Ni	150	100
Zn	4500	1500

Muu*

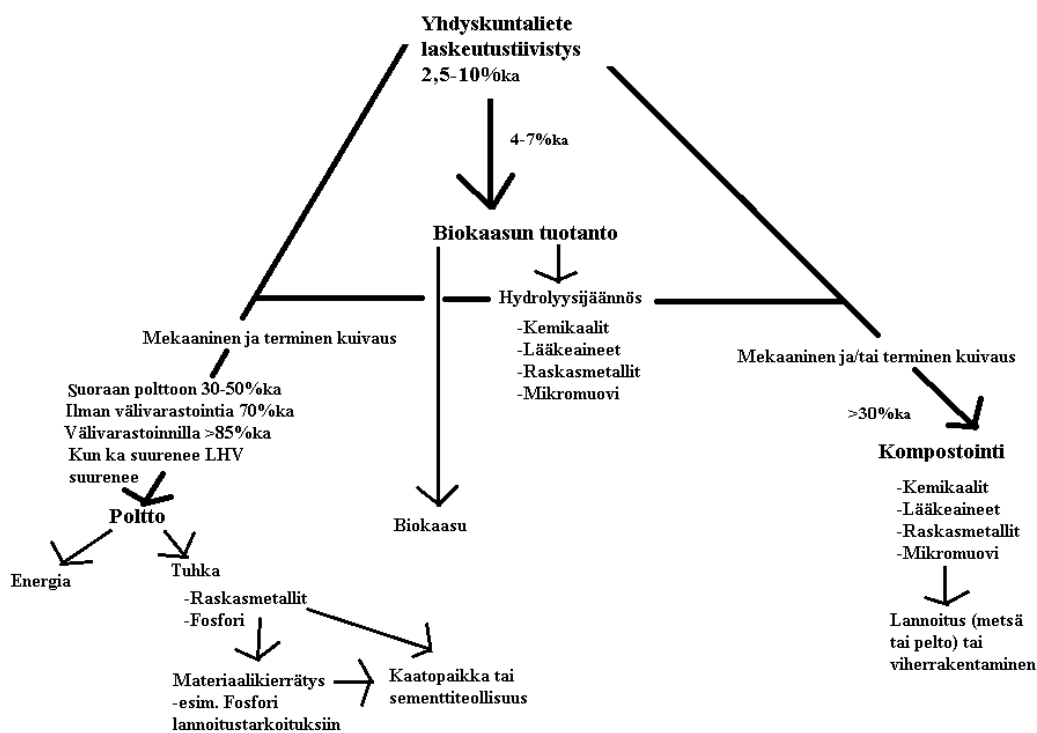
pelto-, puutarhatalous, viherrakentaminen ja maisemointi

ASH DEC prosessissa yhdyskuntalietteen tuhka yhdistetään kemikaalien kanssa ja kuumennetaan noin 900 – 1050 °C. Tässä lämpötilassa raskasmetallit höyrystyvät ja fosfori ei. Prosessissa päästään eroon raskasmetalleista ja fosfori muodostaa biosaatavampia muotoja. Fosforista voidaan sitten tuottaa fosforilannoitetta. Prosessi vaatii sähköä, lämpöä ja kemikaaleja. (Havukainen et al. 2012. 8-9.) Muita menetelmiä ovat esimerkiksi TetraPhos ja SESAL-Phos. TetraPhos perustuu märkä-kemialliseen mädätykseen, jossa saadaan talteen fosforia, kalsiumia, typpeä ja alumiinia. SESAL-Phos käyttää märkä-kemiallista prosessia, jossa käytetään happoja ja emäksiä fosforin talteenottamiseksi. (Gorazda et al. 2017a.) Zürich:issa oleva yhdyskuntalietteenpolttolaitos erottaa sen tuhkasta fosforia ASH-DEC-prosessilla (Outotec 2016. 3).

6 YHTEENVETO

Monessa suomalaisessa kaupungissa mietitään, miten fossiilisten polttoaineiden käyttöä voi vähentää energiantuotannossa. Varsinkin suurimmissa kaupungeissa ja kaupunkikeskittymissä energian tuotanto yhdyskuntalietteestä on varteenotettava vaihtoehto. Varsinkin tiheästi asutettujen ja hyvän jätevedenkeräysinfrastruktuurin omaavien alueiden kannattaa miettiä tätä vaihtoehtoa. Suomessa esimerkiksi Helsingissä, Espoossa ja Vantaalla kannattaa tutkia asiaa.

Kuva 2 esittää yhdyskuntalietteen mahdollisia käsittelyreittejä. Siinä esitetään yhdyskuntalietteen käsittelyvaihtoehtoina anaerobinen mädätys eli biokaasun tuotanto, kompostointi ja poltto. Kuvassa 2 näkyy lietteen sisältämien haitta-aineiden säilyvyys lietteessä eri käsittelyvaihtoehdoilla. Samalla näkyy vaihtoehdon kuivausvaatimus.



Kuva 2. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja sen haitta-aineiden kulku

Yhdyskuntalietteessä on paljon haitta-aineita. Kuvassa 2 näkyy niiden säilyvyys eri käsittelyvaihtoehdoissa. Tällä hetkellä Suomessa yhdyskuntalietettä joko mädätetään tai kompostoidaan. Tämän jälkeen valmis komposti tai mädätysjäännös käytetään lannoitteena, maisemointiaineena tai viherrakennusaineena. Tällöin haitta-aineet jäävät

valmiiseen tuotteeseen, kuten näkyy kuvassa 2. Poltossa mainituista haitta-aineista säilyy vain raskasmetallit. Tulevaisuudessa yhdyskuntalietteestä valmistettuja lannoitteita ei voi käyttää. Tällöin sille pitää etsiä joku muu käyttötarkoitus.

Hyvänä vaihtoehtona kompostoinnille ja mädätykselle on polttaa yhdyskuntaliete. Lieite on kosteuspitoisuudeltaan korkea, sillä on matala lämpöarvo ja laadunvaihteluita, se sisältää raskasmetalleja ja orgaanisia haitta-aineita. Näin polttotekniikkaa valitessa pitää olla tarkkana. Vaihtoehtoina on esimerkiksi lietteen seospoltto muiden biopolttoaineiden tai kierrätyspolttoaineiden kanssa ja lietteen poltto puhtaana polttoaineena. Suomessa lietevirrat eivät ole yhtä suuria kuin joissain muissa Euroopan maissa. Näin järkevin polttoprosessi on Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston kehittämä PAKU-prosessi.

PAKU-prosessissa voimalaitoksen lauhdutin toimii kuivurina tulevalle kostealle lietteelle. Näin hyödynnetään höyrypiirin ylijäämä energia ja lasketaan lietteen kosteuspitoisuutta poltolle sopivaksi. PAKU-laitos voi tuottaa sähköä, lämpöä tai molempia. Ilmastonmuutoksen myötä ilmat lämpenevät. Näin lämpimissä maissa lämmön myynti voi olla ajoittain haastavaa. Näin niissä kannattaa mieluummin rakentaa puhtaasti sähköä tuottava laitos. Suomessa lämmitys on tarpeen, joten Suomeen kannattaa rakentaa joko lämpöä ja sähköä tuottavia tai pelkkää lämpöä tuottavia laitoksia. Jos laitos olisi päätarkoitukseltaan energiantuotantolaitos, laitos ei välttämättä olisi kannattava.

Yhdyskuntalietteen tuhkasta voi eristää fosforia lannoitetuotantoon. Tulevaisuudessa tuhkasta saadaan taloudellisesti poistettua myös metalleja ja muita arvokkaita resursseja. Näin energiantuotanto on osittain sivuseikka. Pääasiana on hallita lietevirtaa pienentämällä sen volyyymia ja saamalla siitä arvokkaita resursseja. Esimerkiksi PAKU-prosessissa kuivan tuhkan massa saadaan noin 5 %: iin märän lietteen massasta. Näin yhdyskuntalietteen käsittelystä saadaan helpommin hallittavaa ja kiertotalouteen sopivaa.

Jokaisella käsitellyllä vaihtoehdolla yhdyskuntaliete pitää kuivata, kuten kuvasta 2 voi päätellä. Jokainen käsittelyvaihtoehto myös vaatii energiaa. Kuvasta 2 voi päätellä, että haitta-aineiden perusteella lietteen poltto on turvallisin valinta. Vaikka liete on kostea polttoaine, muissakin vaihtoehdoissa liete pitää lopulta kuivata, jolloin kuivauksen vaatima energia on helpompi hyväksyä. Tämän työn johtopäätös on, että yhdyskuntaliete kannattaa mieluiten polttaa.

LÄHDELUETTELO

Aaltonen, Jantunen, Timonen, Bruce. 2014. Lappeenrannan jäte- ja jätevesiratkaisujen elinkaariarviointi. Wirma Lappeenranta Oy. [verkkodokumentti]. [viitattu 18.9.2018] Saatavilla: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/palvelut/LRE%20tiedostot/Lappeenrannan%20j%C3%A4te-%20ja%20j%C3%A4tevesiratkaisujen%20elinkaariarviointi%20FINALreport%2023.10.2014%20%28ID%2065206%29.pdf>

Aluehallintovirasto. 2016. Hyväristönmäen jätevedenpuhdistamon ympäristölupa ja toiminnan aloittamislupa, Lappeenranta. Ympäristölupa Nro 164/2016/2. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.9.2018]. Saatavilla: https://tietopalvelu.ahtp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=2524015

Berninger Pihl, Kasanen, Mikola, Tynkkynen, Vahala. 2017. Jätevesien fosfori hyötykäyttöön -teknologia ja ohjauskeinoja. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoimikunnan julkaisusarja 62/2017. Valtioneuvoston kanslia, 15.9.2017. [pdf-dokumentti]. [viitattu 10.10.2018]. Saatavilla: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80670/62_Jatevesienfosforihyotykayttoon_30082017.pdf

ENDEV. 2017a. PAKU- Kustannustehokas, kompakti ja ympäristöystävällinen ratkaisu lietteen käsittelyyn. [www-sivu]. [viitattu 7.10.2018]. Saatavilla: <https://www.endev.fi/>

ENDEV Oy. 2017b. Jätteestä raaka-aineeksi – Jätevesiliete fosforin lähteenä. [powerpoint-esitys]. [viitattu 21.8.2018]. Saatavilla: <http://www.jatehuoltoapaivat.fi/wp/wp-content/uploads/2017/10/ArttuLaasonen.pdf>

Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy. 2018. Kukkuroinmäen käsittelykeskus. Biojätteet. [www-sivu]. [viitattu 7.8.2018]. Saatavilla: http://www.ekjh.fi/kuk_jatteiden_kasittely.html

EVIRA. 2016. Tuhkan käyttö lannoitteena. [internet sivu] [viitattu 31.8.2018] Saatavilla: <https://www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/lannoitevalmisteet/kierratysravinteet/tuhkan-kaytto-lannoitteena/>

Fjäder. 2016. Yhdyskuntajätevesilietteiden maatalouskäytön ja viherrakentamisen riskit. Suomen Ympäristökeskuksen raportti. [pdf-dokumentti]. [viitattu 6.8.2018]. Saatavilla: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/169282/SYKEra_43_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gorazda, Tarko, Wzorek, Kominko, Nowak, Kulczycka, Henclik, Smol. 2017a. Fertilisers production from ashes after sewage sludge combustion – A strategy towards sustainable development. *Environmental Research*, vol. 154, pp. 171-180.

Gorazda, Tarko, Werle, Wzorek. 2017b. Sewage sludge as a fuel and raw material for phosphorus recovery: Combined process of gasification and P extraction. *Waste Management*, vol. 73, pp. 404-415.

Halonen. 2017. Yhdyskuntajätevesilietteen alkuainekoostumuksen määrittäminen käyttämällä ICP-OES ja IPC-MS laitteistoja. Pro-gradu tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, Epäorgaanisen ja analyttisen kemian osasto, 26.6.2017. 108 sivua

Havukainen, Horttanainen ja Linnanen. 2012. Feasibility of ASH DEC – process in treating sewage sludge and manure ash in Finland. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. [Tutkimusraportti]. [viitattu 31.8.2018]. Saatavilla: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/90919/isbn9789252653307.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

HSY. 2015. Viikinmäen jätevedenpuhdistamo. [pdf-dokumentti]. [viitattu 8.8.2018]. Saatavilla: https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/viikinmaki_tekninenesite_FI.pdf

HSY. 2017. Viikinmäen jätevedenpuhdistamo. [internet-sivu]. [viitattu 4.5.2018]. Saatavilla: <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/Viikinmaki/Sivut/default.aspx>

Joensuun vesi. 2017. Kuhasalon jätevedenpuhdistamo. [prosessikaavio]. [viitattu 8.8.2018]. Saatavilla: <http://www.joensuu.fi/documents/1368623/1526769/prosessikaavio/4bb50d8f-4c25-436d-8bb8-b20d518610f6?t=1403844356570>

Kaarlampi. 2017. Lappeenrannan Toikansuon jätevedenpuhdistamon velvoitetarkkailun neljännesvuosiyhteenveto loka-joulukuun 2016 ja vuosiyhteenveto 2016. Saimaan vesi- ja ympäristötutkimus oy. [viitattu 7.8.2018] [pdf-dokumentti] Saatavilla: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/palvelut/LRE%20tiedostot/LPRPMO%202016.pdf>

Koskinen. 2010. Yhdyskuntalietteiden terminen käsittely ja prosessissa syntyvän tuhkan jalostaminen fosforilannoitteeksi Lappeenrannan alueella. Diplomityö, Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta, 23.6.2010. 99 sivua

Lohiniva, Mäkinen, Sipilä. 2001. Lietteiden esikäsittely Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT tiedotteita 2081.

Manninen ja Laitinen. 2016. Jätevesilietteen käsittelyn laskentamallit (Biokaasun tuotanto, lietteen poltto, lietteen kompostointi). SYKE. [pdf-dokumentti]. [viitattu 16.8.2018]. Saatavilla: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiI0ubJoOLcAhVKKpoKHT1nB5YQFjAAegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257BA5EA912E-4539-445E-AE17-1A1AA198BCD2%257D%2F126747&usq=A0vVaw0V0mhKLRFG2S5Avlq6G8o->

Marttila, Bergman, Lana, Manninen, Nerg, Kaikko, Pyrhönen, Anttila, Malinen, Kakko, Horttanainen, Luoranen, Pasila-Lehtinen, Lindh. 2008. Hajautettujen energiatuotannon modulaarinen yhdyskunnan sivuainevirtoja hyödyntävä CHP-laitos. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. [tutkimusraportti]. [viitattu 17.8.2018]. Saatavilla: <http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/43043/isbn9789522146953.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Napapiirin energia ja vesi. 2017. Alakorkalon lietteenpolttolaitos. [www-sivu]. [viitattu 17.8.2018]. Saatavilla: <https://www.neve.fi/Napapiirin-Energia-ja-Vesi/Neuvoa-ja-tietoa/Ymparisto/Alakorkalon-lietteenpolttolaitos#>

Outotec. 2016. Sustainable sewage sludge incineration for Zurich Canton. [internet-dokumentti]. [viitattu 18.9.2018]. Saatavilla: https://www.outotec.com/globalassets/products/energy-production/ote_outotec_sustainable_sewage_sludge_incineration_for_zurich_canton_eng_web.pdf

Phyllis2. Sewage sludge ID numbers #2913, #2191, #2188 ja #941. [internet-tietokanta]. [viitattu 7.10.2018]. Saatavilla: <https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis#sewage%20sludge>

Strömberg. 2006. Fuel Handbook. Translated by Vattenfall AB. Commissioned by TPS Research Programme and Thermal Engineering Research Institute. Published in 101 53 Stockholm. Swedish version ISSN 0282-3772

Takaoka, Domoto, Oshita, Takeda, Morisawa. 2012. Mercury emissions from sewage sludge incineration in Japan. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol 14, pp. 113-119

THL. 2017. Fluoratut yhdisteet. [internetsivu]. [viitattu 10.8.2018]. Saatavilla: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/tarkempaa-tietoa-ymparisto-myryista/fluoratut-yhdisteet>

Van der Hoek, de Fooij ja Struiker. 2016. Wastewater as a resource: Strategies to recover resources from Amsterdam's wastewater. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 113, pp. 53-64.